



# FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“MEJORA DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA METODOLOGÍA RCM PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE LOS EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN CIVIL DE LA EMPRESA CSR21 S.A.C.”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Luis Alfredo Lázaró García

Asesor:

MA Ing. Alejandro Ortega Saco

Lima - Perú

2021

## **Tabla de contenidos**

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>128</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Alineación de los objetivos de la investigación con las fases de implementación del plan de trabajo.</i> .....	47
Tabla 2. <i>Hojas efectivas de operación de los equipos en alquiler en el periodo de observación (julio a diciembre 2019).</i> .....	51
Tabla 3. <i>Ingresos estimados de operación en el periodo de observación (julio a diciembre 2019).</i> .....	52
Tabla 4. <i>Costos incurridos por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes (julio a diciembre 2019).</i> .....	52
Tabla 5. <i>Índices financieros de costos relacionados con el alquiler de equipos de la empresa (julio a diciembre 2019).</i> .....	54
Tabla 6. <i>Cálculo del índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación previo al plan de mejoras.</i> .....	56
Tabla 7. <i>Lista de observación para diagnosticar los factores que inciden en la productividad de los equipos de la empresa.</i> .....	57
Tabla 8. <i>Frecuencia de ocurrencia de los principales factores que inciden en la baja productividad de los equipos de la empresa</i> .....	61
Tabla 9. <i>Matriz de los porqué para evaluar las razones de ocurrencia las situaciones más frecuentes que afectan los niveles de productividad de los equipos de construcción civil de la empresa.</i> .....	63
Tabla 10. <i>Matriz FACTIS para la selección de la mejor alternativa de solución relacionadas con el incremento de la productividad de las maquinarias y equipos de la empresa.</i> .....	67
Tabla 11. <i>Asignación de responsabilidades y plazos de entrega de cada una de las actividades programadas</i> .....	73

Tabla 12. <i>Estimación de los costos incurridos en la implementación del RCM</i> .....	74
Tabla 13. <i>Maquinarias y equipos de la empresa CSR21 S.A.C.</i> .....	75
Tabla 14. <i>Horas de operación de los equipos de la empresa CSR21 S.A.C. (julio-diciembre 2019)</i> .....	75
Tabla 15. <i>Números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en número de fallas detectadas (julio-diciembre 2019)</i> .....	76
Tabla 16. <i>Números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en horas (julio-diciembre 2019)</i> .....	76
Tabla 17. <i>Indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en el mantenimiento de la empresa en el periodo previo a la implementación del plan.</i> .....	79
Tabla 18. <i>Codificación de equipos seleccionados para el análisis RCM</i> .....	81
Tabla 19. <i>Hoja técnica del Cargador Frontal de la empresa</i> .....	82
Tabla 20. <i>Lista de partes del Cargador Frontal de la empresa</i> .....	83
Tabla 21. <i>Hoja técnica del Rodillo Compactador de la empresa</i> .....	84
Tabla 22. <i>Lista de partes del rodillo compactador de la empresa</i> .....	85
Tabla 23. <i>Análisis de fallas para el Cargador Frontal</i> .....	86
Tabla 24. <i>Tabla para evaluar la gravedad de falla (S) para la realización del AMEF.</i> ....	87
Tabla 25. <i>Tabla para evaluar la Probabilidad de falla (O) para la realización del AMEF.</i> .....	87
Tabla 26. <i>Tabla para evaluar la Detectabilidad de falla (D) para la realización del AMEF.</i> .....	88
Tabla 27. <i>Evaluación de Gravedad (S), Frecuencia (O) y Detectabilidad (D) de las fallas en el Cargador Frontal Caterpillar</i> .....	88
Tabla 28. <i>Probabilidad de riesgo de las fallas en el Cargador Frontal</i> .....	89

Tabla 29. <i>Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en el Cargador Frontal Caterpillar.</i> .....	89
Tabla 30. <i>Plan de mantenimiento preventivo del cargador frontal Caterpillar</i> .....	90
Tabla 31. <i>Registro de mantenimiento correctivo del cargador frontal Caterpillar</i> .....	97
Tabla 32. <i>Stock de repuestos para los equipos de la empresa CSR 21 S.A.C.</i> .....	98
Tabla 33. <i>Hojas efectivas de operación de los equipos en alquiler en el periodo de observación (julio a diciembre 2019).</i> .....	101
Tabla 34. <i>Ingresos estimados de operación en el periodo de observación (julio a diciembre 2020).</i> .....	102
Tabla 35. <i>Costos incurridos por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes (julio a diciembre 2020).</i> .....	103
Tabla 36. <i>Índices de productividad mensual durante el proceso de alquiler a los clientes posterior a la implementación (julio a diciembre 2020).</i> .....	104
Tabla 37. <i>Cálculo del índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación posterior al plan de mejoras (estado final 2020).</i> .....	105
Tabla 38. <i>Variaciones en el índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación anterior y posterior al plan de mejoras.</i> .....	106
Tabla 39. <i>Horas de operación de los equipos de la empresa CSR21 S.A.C. (julio-diciembre 2020).</i> .....	107
Tabla 40. <i>Números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en número de fallas detectadas (julio-diciembre 2020)</i> .....	107
Tabla 41. <i>Horas de parada por equipos en el periodo de observación (julio-diciembre 2020)</i> .....	108

Tabla 42. <i>Indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en el mantenimiento de la empresa en el periodo posterior a la implementación del plan.</i> .....	109
Tabla 43. <i>Variaciones en los indicadores de mantenimiento antes y después de la propuesta</i> .....	110
Tabla 44. <i>Acciones realizadas en la fase de actuación.</i> .....	111
Tabla 45. <i>Determinación del flujo de efectivo proyectado sin implementación</i> .....	114
Tabla 46. <i>Determinación del flujo incremental para obtener el costo y beneficio de la propuesta</i> .....	116
Tabla 47. <i>Determinación del tiempo de retorno de la inversión prevista para la implementación</i> .....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación geográfica de la empresa.....	12
<i>Figura 2.</i> Organigrama de la empresa. ....	14
<i>Figura 3.</i> Esquema de implementación del RCM. ....	29
<i>Figura 4.</i> Esquema de implementación del Ciclo de Deming.....	35
<i>Figura 5.</i> Mapa de procesos - alquiler de equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 S.A.C .....	50
<i>Figura 6.</i> Tipo de costos incurrido por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes .....	55
<i>Figura 7.</i> Índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación previo al plan de mejoras.....	56
<i>Figura 8.</i> Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto de los factores que inciden en la baja productividad de los equipos de la empresa. ....	60
<i>Figura 9.</i> Frecuencia de ocurrencia de los principales factores que inciden en la baja productividad de los equipos de la empresa. ....	62
<i>Figura 10.</i> Diagrama de Gantt de la implementación de mejoras basadas en RCM para la gestión de mantenimiento .....	71
<i>Figura 11.</i> Actividades por implementar para mejorar la gestión de mantenimiento basadas en la metodología RCM.....	72

## RESUMEN EJECUTIVO

La experiencia profesional realizada tuvo como objetivo implementar mejoras basadas en la metodología RCM para incrementar la productividad de los equipos de construcción civil de la empresa CSR 21 SAC, en la que se observó inconformidades en las operaciones de mantenimiento las cuales inciden negativamente sobre la eficiencia y generan insatisfacción de los clientes y baja productividad en los equipos alquilados por la empresa, con un índice de 87% en la medición inicial. Para ello, se elaboró un diagnóstico en el cual se obtuvo que los principales factores que afectaban la productividad eran: falta de mantenimiento preventivo, inexistencia de procedimientos de mantenimiento, falta de inspección diaria y no se había realizado capacitación al personal. Para mejorar la situación planteada, se llevó a cabo la aplicación de la metodología RCM, lo que implicó la determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad, definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado, análisis de modo de fallas para los equipos, plan de mantenimiento preventivo, control y seguimiento del plan de mantenimiento y adquisición de stock de repuestos, además de un plan de capacitación, con lo que se logró incrementar la disponibilidad de los equipos de 90.8% hasta 93.8%, y la productividad se incrementó a 93.4%, con un aumento del 6.4%.

**Palabras clave:** mantenimiento centrado en la confiabilidad, productividad, disponibilidad, mantenibilidad, tiempo medio entre fallos, tiempo promedio de reparaciones.



## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS

- Alarcón, M. Martínez, F. y Gómez, F. (2021). Energy and maintenance management systems in the context of industry 4.0. Implementation in a real case. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142 (2021), 110841. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110841>
- Azid, N., Shamsudin, S., Yusoff, M. y Samat, H. (2019). *Materials Science and Engineering*, (2019), 1-14. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/530/1/012050>
- Bangalore, P. y Patriksson, M. (2018). Analysis of SCADA data for early fault detection, with application to the maintenance management of wind turbines. *Renewable Energy*, 115(2018), 521-532. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.073>
- Catelani, M., Ciani, L., Galar, D. y Patrizi, G. (2020). Optimizing maintenance policies for a yaw system using reliability centered maintenance and data-driven condition monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 15 (1) , 1-9. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2020.2968160>
- Chen, Y. y Li, H. (2019). Research on Engineering Quality Management Based on PDCA Cycle. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 490 (6), 062033. Recuperado de: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/490/6/062033/meta>

Corrales, L. Lamban, M. Hernández, M. y Royo, J. (2020). Overall Equipment Effectiveness: Systematic Literature Review and Overview of Different Approaches.

*Applied Sciences*, 10 (8), 64-69. Recuperado de:

<https://doi.org/10.3390/app10186469>

Da Silva, E., Sousa, R., de Oliveira, E., Dos Santos, K., Dos Santos, F., Dos Santos, M., Da

Rocha, L. y Barbosa, A. (2021). Hospital management: Application of the PDCA cycle as a strategy to combat COVID-19 in urgent and emergency units. *Research, Society and Development*, 10 (1), 37910110652. Recuperado de:

<https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10652>

Dos Reis, M., Godina, R., Pimentel, C., Silva, F. & Matias, J. (2019). A TPM strategy implementation in an automotive production line through loss reduction. *Procedia Manufacturing*. 38 (1). 908-915. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.173>

Espejo, A. (2019). *Gestión del mantenimiento para incrementar la productividad en el área de destilación de la empresa Dcobre – 2017*. (Tesis de grado). Pimentel: Universidad Señor de Sipán. Recuperado de: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/5649>

Estrada, M. (2017). *Aplicación del mantenimiento productivo total (TPM) para mejorar la productividad en el área de mantenimiento en la empresa Corporación Logística & Transporte S.A.C., Lima, 2016*. (Tesis de grado). Lima: Universidad César Vallejo. Recuperado de:

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/1479/Estrada\\_HMY.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/1479/Estrada_HMY.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Fuentes, M., González, D. Cantú, M. y Praga, R. (2017). RCM implementation on plastic injection molding machine considering correlated failure modes and small size sample. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95, 3465–3473(2018). Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1402-y>
- Fumagalli, L. Macchi, M. y Giacomini, A. (2017). Orchestration of preventive maintenance interventions. *IFAC-PapersOnLine* 50 (1), 13976-13981. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2417>
- Castillo, A. Medina, J. Gutiérrez, J. y Fernández, L. (2021). Proposal for a maintenance management system in industrial environments based on ISO 9001 and ISO 14001 standard. *Computer Standards & Interfaces* 73 (2021), 103453. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.csi.2020.103453>
- Huamán, G. (2019). *Gestión de mantenimiento y calidad del servicio en la Universidad Nacional del Callao, 2018*. (Tesis de maestría). Lima: Universidad César Vallejo. Recuperado de: [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/27697/Huaman\\_LG.pdf?sequence=1](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/27697/Huaman_LG.pdf?sequence=1)
- Liu, X., Liu, C., Shi, L., Huang, J., Zhang, H. y Chen, M. (2017). Reading Promotion Practice Based on PDCA Cycle At Huazhong University of Science and Technology Library. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 2017 World Conference on Management Science and Human Social Development (MSHSD 2017). Recuperado de: <https://doi.org/10.2991/mshsd-17.2018.78>

- Mwanza B. & Mbohwa, C. (2015) Design of a Total Productive Maintenance Model for Effective Implementation: Case Study of a Chemical Manufacturing Company. *Procedia Manufacturing*. 4 (1), 461-470. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.063>
- Pezeshkian, A. y Hamidi, N. (2019). Presenting the model in improving maintenance and excellence in organizational culture and reliability in Iran tile and ceramic industries, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 26 (3), 369-382. Recuperado de: <https://doi.org/10.1108/JQME-06-2018-0051>
- Quintero y García (2018). Future Maintenance Management in Renewable Energies. En: García Márquez F., Karyotakis A., Papaelias M. (eds) *Renewable Energies*. Springer, Cham. Recuperado de: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45364-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45364-4_10)
- Quinto, J. (2019). *Aplicación del estudio de tiempos y su relación con la productividad del personal operativo en el área de reparación en una empresa metalmecánica dedicada al mantenimiento de maquinaria pesada – 2018*. (Tesis de grado). Callao: Universidad Nacional del Callao. Recuperado de: [http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/4240/QUINTO%20DE%20LA%20CRUZ\\_POSGRADO\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/4240/QUINTO%20DE%20LA%20CRUZ_POSGRADO_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ren, D. (2016). Reliability centered maintenance for condition based maintenance application on transformation equipment. *Electronics, Electrical Engineering and Information Science*, 2016 (1), 100-105. Recuperado de: [https://doi.org/10.1142/9789814740135\\_0011](https://doi.org/10.1142/9789814740135_0011)

- Salah, M., Osman, H. y Hosny, O. (2018). Performance-Based Reliability-Centered Maintenance Planning for Hospital Facilities. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32 (1), 1-20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001112](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001112)
- Sari, M.y Darestani, S. (2019). Fuzzy overall equipment effectiveness and line performance measurement using artificial neural network. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25 (2), 340-354. Recuperado de: <https://doi.org/10.1108/JQME-12-2017-0085>
- Señas. E. y Malca, J. (2019). *Evaluación de las principales pérdidas que afectan al OEE de una máquina papelera modelo Recard, Lima 2018*. Tesis de Grado). Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21607>
- Shahin, A., Aminsabouri, N. y Kianfar, K. (2018). Developing a Decision-Making Grid for determining proactive maintenance tactics: A case study in the steel industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29 (8), 1296-1315. Recuperado de: <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2017-0273>
- Shayesteh, E. y Hilber, P. (2018). Maintenance optimization of power systems with renewable energy sources integrated. *Energy*, 149 (1), 577-586. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.066>
- Siregar I., Muchtar, M. y Rahmat, R. (2018). Method of calculation overall equipment effectiveness in fertilizer factory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 308 (1). Recuperado de: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/308/1/012053/meta>

Stecula, K. y Brodny (2016). Application of the Overall Equipment Effectiveness method to improve the effectiveness of the mechanized longwall system's work in the coal exploitation process. *Smart City: A Holistic Approach*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/305443083>

Tang, Y., Liu, Q., Jing, J. Yang, Y. y Zou, Z. (2016). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy Journal*, 2016 (1), 1.9. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>